

【基盤研究(S)】
大区分D



研究課題名 単一分子トランジスタのテラヘルツダイナミクスと量子情報処理技術への展開

東京大学・生産技術研究所・教授
ひらかわ かずひこ
平川 一彦

研究課題番号： 20H05660 研究者番号：10183097

キーワード： 単一分子トランジスタ、テラヘルツ電磁波、量子情報技術

【研究の背景・目的】

近年、単一分子は分子機能をエレクトロニクスに応用できるデバイスとして注目されるとともに、分子振動が量子力学的な機械振動子としての性質を持っており、新しい量子情報処理の媒体となる可能性が検討されている。このような原子スケールの微細なナノ構造中の量子準位や分子振動などの素励起のエネルギーは、おおよそテラヘルツ (THz) 電磁波の光子エネルギーに対応するため、THz 電磁波を用いることにより、ナノ量子構造の物理に関する非常に有用な情報が得られると期待されている。

最近、我々は原子スケールのギャップを有する電極を単一分子に形成し、それらを THz アンテナとして用いることにより、単一分子に THz 電磁波を集光し、単一分子内の励起に由来する極微弱な THz 信号が測定できるようになってきた。ちょうど今、THz 電磁波と極微ナノ構造の相互作用の研究は新しいフェーズに入ったと言えよう。このタイミングを逃さず、極微ナノ構造を舞台として起きる物理を掘り下げるとともに、それらを上手く量子情報処理技術などに応用できないかを検討すべきである。

上記のような背景の下、現在立ち上がりつつある原子スケールの「テラヘルツナノサイエンス」という新しい分野をさらに推進・深化させ、応用への展開可能性を探ることを本研究の目的とする。

【研究の方法】

1) 単一分子のテラヘルツ分光および分子振動と伝導電子の相互作用の解明：分子振動と伝導電子は強く結合しており (Franck-Condon 効果)、THz パルスで分子振動をコヒーレントに制御することにより、電子伝導に量子的な制御を行う基礎を確立するとともに、新しい量子情報処理技術への応用の可能性を探る。

2) 単一分子の核磁気共鳴 (NMR) の抵抗検出と量子情報処理への応用：単一水分子を内包している $\text{H}_2\text{O}@\text{C}_{60}$ 分子を代表例として、フラーレン中に内包された分子や原子の核磁気共鳴を、ナノギャップ電極を用いた抵抗検出で測定し、新しい量子情報を担う媒体としての可能性を探索する。

3) ナノギャップ電極間に生成される超強テラヘルツ電界と電子の相互作用：原子スケールのナノギャップ電極による電場増強効果により「nm 領域・GV/cm オーダーの交流電界」という今までに無い超強電界領域に入ることができ、その中で起きる新規な電子伝導現象を解明する。

4) ナノメカニカルな構造を用いた新規ナノ領域物性検出法の開発：MEMS/NEMS 技術を用いてナノ領域の伝導や THz 分光を高感度に行う新しい技術を開拓する。

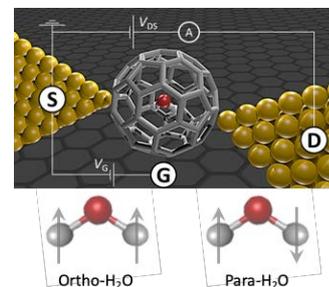


図1 単一分子トランジスタ構造の模式図と単一水分子を内包するフラーレン分子 ($\text{H}_2\text{O}@\text{C}_{60}$)

【期待される成果と意義】

nm オーダーの極微領域の物理と応用は、ちょうど急激に立ち上がろうというフェーズであり、本研究が新しい学問分野が立ち上がる大きな布石となるであろう。さらに、CMOS に代表されるシリコンテクノロジーは、その微細化が限界に近づきつつあり、CMOS を越える新しい素子原理を探索することが急務となっている。

本研究は、電極と分子の持つユニークな物性を合体して、量子情報処理機能など新しい機能を付加したナノデバイスを創出しようという大きな流れの学問的基礎を与えるものである。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ S. Du, K. Yoshida, Y. Zhang, I. Hamada, and K. Hirakawa: "Terahertz dynamics of electron-vibron coupling in single molecules with tunable electrostatic potential", *Nature Photonics*, vol.12, pp. 608-612 (2018).
- ・ K. Yoshida, K. Shibata, and K. Hirakawa: "Terahertz field enhancement and photon-assisted tunneling in single-molecule transistors", *Physical Review Letters*, vol. 115, pp. 138302-1~5 (2015).

【研究期間と研究経費】

令和2年度-6年度 146,800千円

【ホームページ等】

<http://thz.iis.u-tokyo.ac.jp>
hirakawa@iis.u-tokyo.ac.jp